



## Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

**Nombre de la Tecnología:** Precipitador Electrostático Húmedo (PEH) - Tipo Tubo-Alambre

**Tipo de Tecnología:** Dispositivo de Control - Captura/Disposición

**Contaminantes Aplicables:** Materia Particulada (PM), que incluye materia particulada menor o igual a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro aerodinámico ( $\text{PM}_{10}$ ), materia particulada menor o igual a 2,5 micras de diámetro aerodinámico ( $\text{PM}_{2,5}$ ), y contaminantes peligrosos del aire (CPA) que existen en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (el mercurio es la excepción notable, ya que una porción importante de las emisiones se encuentran en forma de vapor elemental). Los PEH se utilizan frecuentemente para controlar las neblinas ácidas y pueden proporcionar un control incidental de compuestos orgánicos volátiles.

### Límites de Emisiones Alcanzables/Reducciones:

Las eficiencias típicas de equipos nuevos varían entre 99 y 99.9%. Los equipos existentes más antiguos tienen un rango de eficiencia de operación de 90 a 99.9%. Aunque son varios los factores que determinan la eficiencia de recolección de los PEH, el más importante es el tamaño del PEH. El tamaño determina el tiempo de tratamiento; entre más tiempo permanezca una partícula en el PEH, es más probable que ésta sea atrapada. Al maximizar la fuerza del campo eléctrico, se maximiza la eficiencia de recolección del PEH (STAPPA/ALAPCO, 1996). La eficiencia de recolección también se ve afectada en cierto grado por la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y por la distribución del tamaño de las partículas.

**Tipo de Fuente Aplicable:** Punto.

### Aplicaciones Industriales Típicas:

Los PEH se utilizan en situaciones en las cuales los precipitadores electrostáticos secos (PES) no son apropiados, tal como cuando el material por recolectarse está húmedo, pegajoso, es inflamable, es explosivo o tiene una resistividad alta. Además, a medida que las altas eficiencias de recolección se han vuelto más deseables, las aplicaciones de los PEH han aumentado. Muchos de los precipitadores electrostáticos (PE) más antiguos son del diseño tubo-alambre, las cuales consisten de un solo tubo colocado en la parte superior de una chimenea (EPA, 1998). Los PEH son comúnmente utilizados en la industria textil, las industrias de productos de la madera, la industria metalúrgica, incluyendo los hornos de coque, y en plantas de producción de ácido sulfúrico, entre otras, aunque también se utilizan otros tipos de PE (EPA, 1998; Flynn, 1999).

### Características de las Emisiones:

- a. **Flujo de Aire:** Los flujos de aire típicos para los PEH del tipo tubo-alambre varían de 0,5 a 50 metros cúbicos estándares por segundo ( $\text{sm}^3/\text{s}$ ) (1.000 a 100.000 pies cúbicos estándares por minuto ( $\text{scfm}$ )) (Flynn, 1999).
- b. **Temperatura:** Los PEH del tipo tubo-alambre están limitados a operar a temperaturas menores de aproximadamente 80 a 90°C (170 a 190°F) (EPA, 1998; Flynn, 1999).

- c. **Cargamento de Contaminante:** Las concentraciones típicas a la entrada de un PEH del tipo tubo-alambre son de 1 a 10 grams (g)/sm<sup>3</sup> (0,5 a 5 granos (gr)/scf). Es común dar un pretratamiento a la corriente residual, normalmente por asperción de agua o torre de lavado, para bajar la temperatura y la concentración de la corriente contaminada a un rango más manejable. Los flujos altamente tóxicos con concentraciones mucho menores de 1 g/sm<sup>3</sup> (0,5 gr/scf), también son controlados en ocasiones por PEH (Flynn, 1999).
- d. **Otras Consideraciones:** La resistividad del polvo no es un factor para los PEH, debido a la alta humedad de la atmósfera que reduce la resistividad de la mayoría de los materiales. El tamaño de las partículas es un factor de menor importancia para los PEH que para aquéllos en seco. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas con los PEH debido a que la resistividad no importa, así como a la reducción en la pérdida por el reencauzamiento de las partículas ya atrapadas (Flynn, 1999).

#### Requisitos de Pretratamiento de la Emisión:

Cuando la carga de contaminantes es excepcionalmente alta o consiste en partículas relativamente grandes (> 2 µm) se pueden utilizar depuradores tipo venturi o cámaras de asperción para reducir la carga sobre el PE. Las partículas aún mayores (>10 µm) son controladas por medio de recolectores mecánicos tales como los ciclones. A veces se utiliza equipo para acondicionamiento de gases para reducir tanto la concentración de entrada como la temperatura del gas, como parte del diseño original de un PEH (AWMA, 1992; Flynn, 1999).

#### Información de Costos:

A continuación se presentan los rangos de costo (expresados en dólares al tercer trimestre de 1995) para los PEH del tipo tubo-alambre de diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, elaborados utilizando los formatos de la *United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA, agencia de protección ambiental de los EE.UU.)* para estimación de costos para los PE del tipo placa-alambre y ajustados para reflejar las características de los PEH del tipo placa-alambre (EPA, 1996). Los costos pueden ser sustancialmente más altos que los expuestos en los rangos para contaminantes que requieran un nivel extremadamente alto de control, o que requieran que los PE sean construídos con materiales especiales tales como el titanio. Los costos de capital y de operación son generalmente más altos debido a los requisitos de materiales anticorrosivos, al mayor consumo de agua y al costo de tratamiento y disposición del efluente húmedo. En la mayoría de los casos, las unidades más pequeñas que controlen corrientes residuales de baja concentración no serán tan eficientes en costo como lo será una unidad más grande que purifique un flujo con una carga alta de contaminantes. (EPA, 1998).

- a. **Costo de Capital:** \$85,000 a \$424,000 por sm<sup>3</sup>/s (\$40 a \$200 por scfm)
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$12,000 a \$21,000 por sm<sup>3</sup>/s (\$6 a \$10 por scfm), anual.
- c. **Costo Anualizado:** \$25,000 a \$97,000 por sm<sup>3</sup>/s (\$12 a \$46 por scfm), anual.
- d. **Eficiencia en el Costo:** \$73 a \$720 por tonelada métrica (\$65 a \$660 por tonelada corta)

#### Teoría de Operación:

Un PES es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión gaseosa hacia las superficies de recolección. Una carga eléctrica es impartida a las partículas encauzadas cuando pasan a través de una corona, una región donde fluyen los iones en fase gaseosa. Los electrodos ubicados en el centro del plano del flujo se

mantienen a un alto voltaje y generan un campo eléctrico que fuerza las partículas hacia las paredes recolectoras. En los PEH, los colectores se bañan intermitentemente o continuamente por una aspersión de líquido, normalmente agua. Las tolvas de recolección que utilizan los PES se reemplazan por un sistema de drenaje. El efluente húmedo se recolecta y frecuentemente se trata *in situ* (EPA, 1998).

En el PES de tipo tubo-alambre, también llamado PE tubular, el gas de escape fluye verticalmente a través de tubos conductivos, generalmente con varios tubos operando en paralelo. Los tubos pueden estar alineados en formación circular, cuadrada, o en forma de panal hexagonal. La tubería cuadrada y la hexagonal se pueden compactar más estrechamente que la tubería cilíndrica, reduciendo el espacio desaprovechado. Los tubos son normalmente de 7 a 30 cm (3 a 12 pulgadas) de diámetro y de 1 a 4 metros (3 a 12 pies) de longitud. Los electrodos de alto voltaje son alambres largos o “mastiles” rígidos suspendidos de un marco en la parte superior del PE que atraviesan el eje de cada tubo. Los electrodos rígidos están generalmente sostenidos tanto por un marco superior así como por uno inferior. En los diseños modernos, se añaden puntas filosas a los electrodos, ya sea a la entrada o a todo lo largo del tubo, en forma de estrellas para proporcionar sitios de ionización adicionales (EPA, 1998; Flynn, 1999).

Las fuentes de energía para el PES convierten el voltaje industrial de corriente alterna (220 a 480 voltios) a voltaje pulsante de corriente directa en el rango de 20.000 a 100.000 voltios según sea necesario. El voltaje aplicado a los electrodos causa que el gas entre los electrodos se descomponga eléctricamente, una acción conocida como una “corona.” Se suele impartir una polaridad negativa a los electrodos porque una corona negativa tolera un voltaje más alto antes de producir chispa que una corona positiva. Los iones generados en la corona siguen las líneas del campo eléctrico desde el electrodo hasta las superficies colectoras. Por lo tanto, cada combinación de tubo y electrodo establece una zona de carga a través de la cual deben pasar las partículas. Puesto que las partículas mayores (>10 µm de diámetro) absorben varias veces más iones que las menores (>1 µm de diámetro), las fuerzas eléctricas son mucho más fuertes en las partículas mayores (EPA, 1996).

Debido a los espacios libres necesarios para los componentes internos no electrificados en la parte superior de los PE del tipo placa-alambre, una parte del gas puede desviarse alrededor de las zonas de carga. A esto se le llama “fuga furtiva” e impone un límite máximo a la eficiencia de recolección. Los PE del tipo tubo-alambre no proporcionan trayectorias de fuga alrededor de la región recolectora, pero las irregularidades en la uniformidad del campo pueden permitir que algunas partículas eviten cargarse durante una fracción considerable de la longitud del tubo (AWMA, 1992).

Los PEH requieren de una fuente de agua para enjuague que se inyecte o se rocíe por aspersión cerca de la parte superior de las placas colectoras, ya sea continuamente o a intervalos programados. Este sistema de enjuague reemplaza al mecanismo de martilleo normalmente utilizado en los PE. El agua fluye con las partículas recolectadas hasta un depósito desde donde el líquido será bombeado o drenado. Una porción del líquido puede ser reciclada para reducir la demanda total de agua. El restante se bombea hacia una laguna de asentamiento o se pasa a través de un sistema de remoción del agua, con la disposición posterior del lodo obtenido (AWMA, 1992).

A diferencia de los PE, la resistividad del material recolectado por lo general no es un factor importante en el rendimiento del PEH. Debido a la alta humedad en un PEH, la resistividad de las partículas se reduce, eliminando la condición de “corona reversa”. El enjuague frecuente de los tubos también limita la acumulación de partículas en los colectores. (EPA, 1998).

### **Ventajas:**

Los PEH del tipo tubo-alambre y otros PE en general, debido a que actúan únicamente sobre el particulado por eliminar, y sólo impiden el flujo de la corriente de gas de manera mínima, tienen bajas de presión muy pequeñas (típicamente menores de 13 mm (0,5 pulgadas) de columna de agua). Como resultado, los

requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos. Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas. Los costos de operación son relativamente bajos. Los PE son capaces de operar bajo presiones altas (hasta los 1.030 kPa (150 libras por pulgada cuadrada, *psi*)) o al vacío, y razones de flujo relativamente grandes se pueden manejar de manera efectiva (AWMA, 1992).

Los PEH pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad. El enjuague continuo o intermitente con un líquido, elimina el reencauzamiento de partículas al flujo de gas, que se ocasiona con el martilleo al cual están sujetos los PE. La atmósfera húmeda que resulta del enjuague de los PEH les permite recolectar partículas con alta resistividad, absorber gases u ocasionar que se condensen los contaminantes; además, ésta enfría y acondiciona la corriente de gas. Las partículas líquidas o aerosoles presentes en la corriente de gas son recolectadas con las partículas y proporcionan otro método para enjuagar los electrodos de colección (EPA, 1998). Los PEH del tipo tubo-alambre tienen las ventajas adicionales de reducir las “fugas furtivas” al pasar todo el caudal gaseoso a través del campo de recolección, y la capacidad de estar sellada herméticamente para prevenir fugas de materiales especialmente valiosos o peligrosos (AWMA, 1992).

### **Desventajas:**

Generalmente, los PE tienen costos de capital altos. Los electrodos de descarga fabricados de alambre (aproximadamente 2,5 mm (0,01 pulgadas) de diámetro) requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres debido a fugas de aire y condensación ácida. Además, los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar - la parte media del alambre puede acercarse al tubo, causando más chispas y desgaste. Los diseños más nuevos de PE tienden a utilizar los electrodos rígidos, o “mastiles” que eliminan en gran parte los inconvenientes del uso de electrodos de alambre (Cooper y Alley, 1994; Flynn, 1999).

En general los PE no son muy apropiados para uso en procesos que sean demasiado variables, debido a que son muy sensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidades de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas). Los PE también son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que los PE deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas necesarias para la recolección eficiente de PM (Cooper y Alley, 1994). Se requiere de personal de mantenimiento relativamente sofisticado, además de precauciones especiales para proteger al personal del alto voltage. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización del gas (AWMA, 1992). Los PEH añaden la complejidad de un sistema de enjuague, y el hecho de que el sedimento fangoso resultante debe ser tratado con más cuidado que un producto seco, y en muchos casos requiere tratamiento, especialmente si el polvo puede ser vendido o reciclado. Los PEH se limitan a operar a temperaturas del caudal por debajo de aproximadamente 80 a 90°C (170 a 190°F), y generalmente deben ser construídos con materiales anticorrosivos (EPA, 1998; Flynn, 1999).

### **Otras Consideraciones:**

Para los PEH, se debe tomar en cuenta el manejo de las aguas residuales. Para los sistemas simples con polvos inocuos, el agua que contiene las partículas recolectadas en el PEH, se puede descargar del sistema del PEH hacia un clarificador que remueva los sólidos (ya sea exclusivo del PEH o parte del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta), y posteriormente a su disposición final. Los sistemas más complicados podrían requerir eliminadores de espuma y remoción de lodos, clarificación en equipos específicos, ajuste del pH y/o tratamiento para remover los sólidos disueltos. El agua de los aspersores del equipo de preacondicionamiento del PEH puede ser tratada por separado del agua que se utiliza para limpiar las placas de colección en el PEH, de manera que la más limpia de esas dos corrientes de agua tratada pueda ser devuelta al PEH. La recirculación de agua tratada hacia el PEH podría llegar a casi el 100 por ciento (AWMA, 1992).

## Referencias:

AWMA, 1992. Air & Waste Management Association, *Air Pollution Engineering Manual*, Van Nostrand Reinhold, New York.

Cooper & Alley, 1994. C. D. Cooper and F. C. Alley, *Air Pollution Control: A Design Approach*, Second Edition, Waveland Press, Inc. IL.

EPA, 1996. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. February.

EPA, 1997. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, Fifth Edition, Research Triangle Park, NC., October.

EPA, 1998. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.

Flynn, 1999. Brian Flynn, Beltran Associates, Inc., (718) 338-3311, personal communications with Eric Albright, February 5 and 10, 1999.

STAPPA/ALAPCO, 1996. State and Territorial Air Pollution Program Administrators and Association of Local Air Pollution Control Officials, "Controlling Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options," July.